Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 23, No. 2, Summer 2025, p. 131-147

Improving the Nutrient Absorption and Yield of Chickpeas (*Cicer arietinum*) and Barley (*Hordeum vulgare*) under Row Inter-cropping with Foliar Application of Plant Growth Regulators in Saline Soil Conditions

A. Talebi[1], M. R. Owji[1]*, F. Mohajeri[1], M. R. Baziar[1]

1- Department of Agriculture, Fa.C., Islamic Azad University, Fasa, Iran
(*- Corresponding author's Email: mr.owji@iau.ac.ir)

Received: 09 June 2024
Revised: 19 October 2024
Accepted: 26 October 2024
Available Online: 11 March 2025

How to cite this article:
Talebi, A., Owji, M. R., Mohajeri, F., & Baziar, M. R. (2025). Improving the Nutrient Absorption and Yield of Chickpeas (*Cicer arietinum*) and Barley (*Hordeum vulgare*) under Row Inter-cropping with Foliar Application of Plant Growth Regulators in Saline Soil Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *23*(2), 131-147. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88429.1331

Introduction

Soil salinity is one of the environmental stresses that is an important threat to agricultural production in the world. The global scientific community has been testing possible technologies for increasing salt stress tolerance in plants for more than three decades. New advances and perspectives have been obtained to restore the productivity of plants under salt stress. Utilization of plant growth regulators is one of the promising strategies to overcome the adverse effects of salinity. Also, row inter-cropping can increase the efficiency of the used resources. Improving the yield of chickpeas and barley in row inter-cropping using foliar spraying of salicylic acid, jasmonic acid and brassinosteroid was the hypothesis proposed in this research. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of these hormones' application in mixed cropping of chickpeas and barley under salt stress conditions.

Materials and Methods

A split plot experiment was conducted in the form of a randomized complete block design with three replications during the growing seasons of 2021 and 2022. This research was carried out in Fasa, Iran. The main factor was the planting arrangement included monocropping of chickpeas and barley and their row inter-cropping (75% chickpeas + 25% barley, 50% chickpeas + 50% barley and 25% chickpeas + 75% barley as row intercrop). The second factor was the foliar spray of growth regulators consisting of salicylic acid, jasmonic acid, brassinosteroid and distilled water as control. Data variance analysis for different traits was done using SAS statistical software version 9.1.

Results and Discussion

In the row inter-cropping of 25% chickpeas + 75% barley, compared to the monocropping of these two plants the leaf sodium concentration of chickpeas and barley showed a decrease of 5 and 3%, respectively. An increase in leaf nitrogen concentration was observed in the mixed cropping of chickpeas and barley compared to the monocropping system. In the monocropping of chickpeas and barley, salicylic acid and jasmonic acid foliar application improved the leaf potassium content of chickpeas and barley. In the conditions of mixed cropping,

https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88429.1331

foliar spray of salicylic acid and jasmonic was able to increase the leaf potassium concentration of chickpeas compared to the control. The plant's ability to remove sodium from the cytosol increases water absorption and preserves photosynthetic pigments. The results of this experiment confirmed the hypothesis of synergistic effects of row inter-cropping compared to monocropping. Positive changes in the row inter-cropping can be related to the diverse absorption of ions by plants, changes in ion solubility and interaction between ions. In 2021, the highest biological yields of chickpeas and barley (3199 and 10351 kg ha^{-1}) were observed in mixed cropping of 50% chickpeas + 50% barley. In 2022, the row inter-cropping of 50% chickpeas + 50% barley increased the biological yield of chickpeas and barley by 9% and 18%, respectively, compared to monocropping. The highest yield of chickpeas and barley seeds was observed in row inter-cropping of 75% chickpea + 25% barley, using foliar spray of salicylic acid and jasmonic acid. The increase in the grain yield of chickpeas and barley plants in other treatments of row inter-cropping was also observed with foliar spray of salicylic acid and jasmonic acid.

Conclusion

The results of this research showed that salt stress and sodium absorption cause disturbances in the absorption of nutrients. Foliar spray of growth regulators improved growth by reducing sodium and increasing nutrient absorption. Also, the positive effect of row inter-cropping of chickpeas and barley compared to their monocropping on increasing the growth and grain yield under salt stress conditions was a successful result. Therefore, row inter-cropping can be used to ensure production stability under salinity stress conditions.

Acknowledgment

We would like to thank the Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, and the Islamic Azad University of Fasa for their sincere assistance in carrying out this research.

Keywords: Grain yield, Nitrogen, Photosynthetic pigments, Sodiums

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۳، شماره ۲، تابستان ۱٤۰٤، ص ۱٤۷-۱۳۱

بهبود جذب عناصر غذایی و عملکرد نخود (*Cicer arietinum*) و جو (*Hordeum vulgare*) در کشت مخلوط ردیفی با محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در شرایط خاک شور

علی طالبی[۱]، محمد رحیم اوجی[۱*]، فرهاد مهاجری[۱]، محمد رضا بازیار[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۵

چکیده

از راهکارهای امیدوارکننده برای غلبه بر تنش شوری، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است. همچنین برای بهینه‌سازی کارآیی استفاده از منابع، کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌تواند مفیدتر باشد. این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ در شرایط خاک شور انجام شد. عامل اصلی آرایش کاشت شامل کشت خالص و مخلوط از دو گیاه نخود و جو و عامل فرعی محلول‌پاشی تنظیم‌کننده رشد گیاه شامل اسید سالیسیلیک با غلظت یک میلی‌مولار، اسید جاسمونیک با غلظت ۱۰۰ میکرومولار، براسینواستروئید با غلظت یک میکرومولار و شاهد بود. نتایج نشان داد که در کشت مخلوط ۲۵ درصد نخود + ۷۵ درصد جو، غلظت سدیم برگ نخود و جو در مقایسه با کشت خالص این دو گیاه به‌ترتیب کاهش معنی‌دار پنج و سه درصدی نشان داد. کشت مخلوط سبب افزایش پتاسیم برگ، شاخص سبزینگی و عملکرد زیست‌توده نسبت به تک‌کشتی شد. بیشترین کلروفیل b برگ نخود در اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک مشاهده شد که نسبت به شاهد به‌ترتیب افزایش معنی‌دار شش و پنج درصدی نشان داد. محلول‌پاشی براسینواستروئید توانست سبب بهبود محتوای کلروفیل a و b برگ نخود و جو شود. در سال دوم، کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود + ۵۰ درصد جو سبب افزایش ۱۰ درصدی عملکرد دانه نخود نسبت به کشت خالص شد. در مجموع، با توجه به تأثیر مثبت محلول‌پاشی تنظیم‌کننده رشد گیاه در افزایش عملکرد دانه نخود و جو در شرایط کشت مخلوط می‌توان این روش را تحت تنش شوری توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: رنگدانه‌های فتوسنتزی، سدیم، عملکرد دانه، نیتروژن

مقدمه

شوری خاک از جمله تنش‌های محیطی در سطح جهان است که تهدید مهمی برای تولیدات کشاورزی است. شور شدن خاک در بیش از یک میلیارد هکتار از اراضی و در بیش از ۱۰۰ کشور جهان گسترش یافته است (Singh, 2022). کاهش رشد و عملکرد گیاه به‌دلیل تنش شوری در نتیجه اختلال در تغذیه، کاهش فتوسنتز و افزایش تخریب غشاء سلولی و تنش اکسیداتیو حاصل می‌شود (Desoky, Saad, El-Saadony, Merwad, & Rady, 2020). به‌طور واضح مشخص نیست که در شرایط تنش شوری کدام عوامل نقش مهم‌تری در کاهش رشد و عملکرد گیاه را دارند. جامعه علمی جهانی بیش از سه دهه است که در حال آزمایش فناوری‌های ممکن برای افزایش تحمل به تنش شوری در گیاهان هستند (Hayat *et al.*, 2020). در نتیجه، پیشرفت‌ها و چشم‌اندازهای جدیدی برای بازیابی بهره‌وری گیاهان تحت تنش شوری حاصل شده است (Mishra, Mishra, & Arora, 2021). براساس گزارش‌های اخیر پژوهشگران، تغییر در سازوکارهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و هورمونی می‌تواند در برخی موارد سبب افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری شود (Muchate, Nikalje, Rajurkar, Suprasanna, & Nikam, 2016).

کشت مخلوط به‌عنوان نمونه‌ای از نظام کشاورزی پایدار، اهدافی همچون ایجاد تعادل اکولوژیک، بهره‌وری بیش‌تر از منابع و افزایش کمّی و کیفی محصول را دنبال می‌کند (Glaze-Corcoran *et al.*, 2020). بنابراین، توجه زیادی به افزایش تنوع سیستم‌های تولیدی با افزودن تعداد گونه‌های گیاهی برای به حداکثر رساندن کارآیی استفاده از منابع در مقایسه با نظام‌های تک‌کشتی شده است (Ghaffarian *et al.*, 2020). کشت مخلوط یک سیستم کشاورزی سازگار برای بهینه‌سازی کارآیی استفاده از منابع و عملکرد محصول، به‌ویژه در

۱- گروه کشاورزی، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mr.owji@iau.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88429.1331

شرایط تنش‌های محیطی است (Su, Mu, Zhou, Kamran, & Yang, 2022). در شرایط تنش‌های محیطی، کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دارای مزیت نسبی است و شاخص‌های کمّی و کیفی گیاهان بهبود پیدا می‌کند (Chamkhi *et al.*, 2022). اثرات مفید انجام کشت مخلوط غلات با حبوبات می‌تواند جذب عناصر غذایی را بهبود بخشد و در نهایت عملکرد رشد هر دو محصول مخلوط را برای سیستم‌های کشاورزی کم‌نهاده بهبود بخشد (Bi *et al.*, 2019).

از راهکارهای دیگر جهت افزایش تحمل به تنش شوری در گیاهان، استفاده از تنظیم‌کننده رشد گیاهی می‌باشد (Farhangi-Abriz, Alaee, & Tavasolee, 2019). اسید سالیسیلیک یکی از هورمون‌های دفاعی ضروری گیاهی است که نقش مهمی در تنظیم رونویسی ژن‌های دفاعی ایفا می‌کند (Zhang & Li, 2019). اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنل طبیعی و از تنظیم‌کننده‌های درون‌زای رشد می‌باشد. ترکیبات فنلی، به‌عنوان موادی شناخته شده‌اند که دارای یک حلقه آروماتیک همراه با یک گروه هیدروکسیل یا مشتقات فعال آن می‌باشند (Hassoon & Abduljabbar, 2019). اسید سالیسیلیک یک مولکول زیستی پیام‌رسانی فنولی قوی و یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی چندوجهی است که در طیف گسترده‌ای از رشد، متابولیسم و سیستم‌های دفاعی شرکت می‌کند (Arif, Sami, Siddiqui, Bajguz, & Hayat, 2020). بسیاری از بررسی‌های انجام‌شده نشان داده است که کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت خارجی در گیاهان تحت تنش شوری می‌تواند اثرات تخریبی ناشی از تنش‌ها را کاهش دهد و فرآیندهای رشد را سریعاً به حالت اول برگرداند. در واقع، اسید سالیسیلیک در تنش‌های محیطی نقش محافظتی داشته و موجب بهبود روند رشد در گیاه در شرایط تنش شوری می‌شود (Nigam, Dubey, & Rathore, 2022). اسید جاسمونیک و مشتقات آن به‌صورت مولکول‌های پیام‌رسان، سیستم‌های دفاعی گیاهان را در مقابل عوامل تنش‌زای محیطی فعال می‌کند (Ruan *et al.*, 2019). جاسمونات‌ها در رشد و نمو و واکنش به تنش‌های محیطی نقش تنظیم‌کننده‌ای را ایفا می‌کنند (Hewedy *et al.*, 2023). اسید جاسمونیک به‌عنوان یک تنظیم‌کننده کلیدی شناخته شده است، که به‌عنوان کدکننده ژن‌های پروتئین‌های بازدارنده، نظیر پروتئین‌های تئونین، اسموتین، پرولین و همچنین در بیوسنتز متابولیت‌های مختلف (به‌عنوان مثال، فیتوالکسین‌ها و ترپنوئیدها) نقش دارد (Ghorbel, Brini, Sharma, & Landi, 2021; Ali & Baek, 2020). همچنین براسینواستروئیدها گروهی از هورمون‌های استروئیدی گیاهی هستند که نقش‌های متعددی در رشد، نمو و پاسخ به تنش‌ها دارند (Ahammed, Li, Liu, & Chen, 2020). تعداد زیادی از مطالعات نشان می‌دهد که براسینواستروئیدها می‌توانند با تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، متابولیسم عناصر مغذی، وضعیت آب و تعادل هورمونی در سطح مولکولی بر پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی تأثیر بگذارند و نقش مثبت در رشد گیاه داشته باشند (Hafeez *et al.*, 2021). براسینواستروئیدها با تنظیم بیان ژن‌های دفاعی، فرآیندهای مختلف رشد و نمو گیاهان را تنظیم می‌کند. همچنین براسینواستروئیدها با هورمون‌های مختلف برای تنظیم فیزیولوژی و رشد گیاه تداخل دارند (Bhandari & Nailwal, 2020). گزارش شده است که براسینواستروئیدها بازده فتوسنتزی را در شرایط تنش شوری بهبود می‌بخشد، که تا حد زیادی به افزایش رشد و عملکرد محصول کمک می‌کند (Siddiqui, Hayat, & Bajguz, 2018).

با توجه به اینکه شوری خاک از چالش‌های عمده حال حاضر کشاورزی است و در آینده نزدیک امنیت غذایی، بهره‌وری کشاورزی و پایداری محیط زیست را به خطر می‌اندازد، یافتن فن‌آوری‌های جدید برای بهبود تولید در خاک‌های متأثر از تنش شوری، یک نیاز اساسی است. در سال‌های اخیر، کاربرد تنظیم‌کننده رشد گیاهی در توسعه و بهبود رشد گیاهان در شرایط تنش و غیرتنش گسترش یافته است. موارد زیادی در مورد نحوه اثرات دقیق تنظیم‌کننده رشد گیاهی در کشت مخلوط تحت شرایط تنش شوری در دست نمی‌باشد، لذا هدف از این پژوهش، بررسی اثر تنظیم‌کننده رشد گیاهی در کشت مخلوط نخود و جو، تحت شرایط خاک نسبتاً شور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

طراحی آزمایش و تیمارها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ اجرا گردید. این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی در مرکز تحقیقات کشاورزی فارس- فسا و در موقعیت مکانی با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۲۴ دقیقه و ارتفاع ۱۳۷۰ متر از سطح دریا انجام شد. عامل اصلی، آرایش کاشت شامل کشت خالص از دو گیاه نخود ایرانی و جو و کشت مخلوط آن‌ها (۱۰۰ درصد نخود ایرانی و ۱۰۰ درصد جو، ۷۵ درصد نخود ایرانی + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد نخود ایرانی + ۵۰ درصد جو، ۲۵ درصد نخود ایرانی + ۷۵ درصد جو) و عامل فرعی، محلول‌پاشی تنظیم‌کننده رشد گیاه شامل اسید سالیسیلیک، اسید جاسمونیک، براسینواستروئید و شاهد بود.

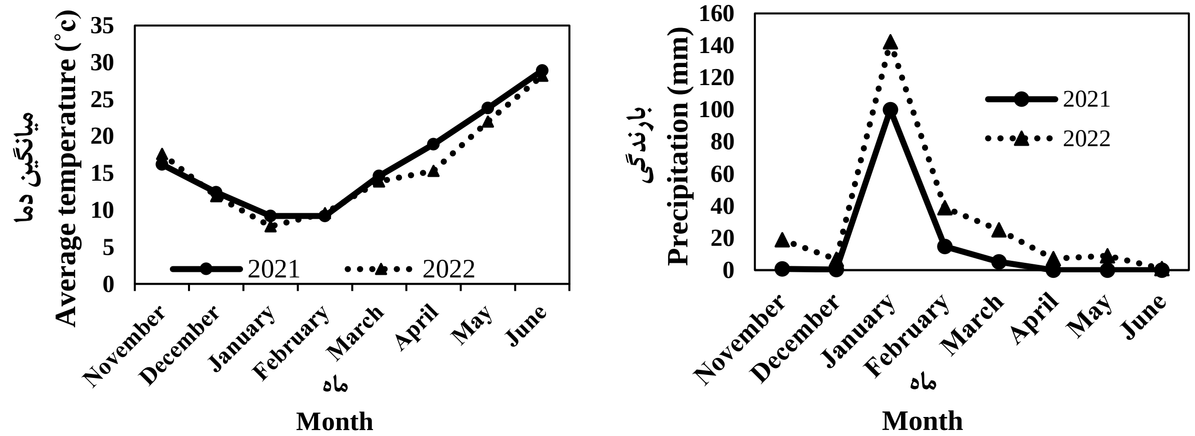
اجرای آزمایش

پیش از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، نمونه‌برداری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱). این آزمایش در شرایط خاک شور با هدایت الکتریکی حدود شش دسی زیمنس بر متر انجام گردید. میزان بارندگی و متوسط دمای ماهیانه در طول اجرای آزمایش به‌شرح شکل ۱ بود.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- The results of the chemical and physical analysis of the soil at the experiment location

سال Year	بافت Texture	هدایت الکتریکی EC (dS m-1)	کربن آلی O.C	نیتروژن N	سدیم Na^+	کلر Cl^-	منگنز Mg^{+2}	کلسیم Ca^{+2}	فسفر P	پتاسیم K	روی Zn	منگنز Mn	آهن Fe	مس Cu
		$(dS\ m^{-1})$	(%)		$(meq\ l^{-1})$				$(mg\ kg^{-1})$					
۱۴۰۰ 2021	لوم-رس-شن Sandy clay loam	6.02	0.42	0.07	104.1	124.6	27.40	20.50	12.60	141	1.44	0.93	4.57	0.05
۱۴۰۱ 2022	لوم-رس-شن Sandy clay loam	6.01	0.97	0.24	106.7	125.3	27.22	19.89	11.12	136	1.34	1.07	4.49	0.05



شکل ۱- شرایط آب‌وهوایی برای الگوهای فصلی از مارس تا جولای ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲

Figure 1- The climate conditions for the seasonal patterns from March to July 2021 and 2022

قبل از کاشت، عملیات خاک‌ورزی اولیه شامل شخم، دیسک و آماده‌سازی بستر کشت انجام شد. سپس کرت‌هایی با طول ۴/۵ متر و عرض سه متر با هشت خط کشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متر برای کشت آماده گردید. کاشت برای هر دو گیاه نخود (*Cicer arietinum*) و جو (*Hordeum vulgare*) به‌صورت دستی و در اواخر ماه آبان در هر دو سال (۱۴۰۰ و ۱۴۰۱) انجام شد. برداشت گیاه جو در سال اول در اواسط اردیبهشت سال ۱۴۰۱ و در سال دوم در اواسط اردیبهشت سال ۱۴۰۲ انجام شد. همچنین برداشت گیاه نخود در سال اول در اوایل خرداد سال ۱۴۰۱ و در سال دوم در اوایل خرداد سال ۱۴۰۲ صورت گرفت. عمق کاشت برای بذرهای جو حدود یک تا دو سانتی‌متر و برای نخود حدود دو تا سه سانتی‌متر بود. به‌منظور اطمینان از تراکم مطلوب مزرعه برای هر دو گیاه نخود و جو، سه عدد بذر در هر کپه به‌صورت دستی کشت شد و پس از مرحله دو برگی، یک بوته باقی گذاشته شد. نحوه کاشت دو گیاه در سامانه‌های مخلوط ۵۰ + ۵۰ درصد به‌صورت یک در میان و در سامانه‌های مخلوط ۲۵ + ۷۵ درصد به‌صورت دو در میان بود. بذرهای جو رقم زهک و نخود ایرانی رقم داراب از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس تهیه شد.

تراکم کاشت برای گیاه جو ۴۰۰ بوته در مترمربع و برای نخود ۴۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. جو رقم زهک جزء ارقام شش ردیفه می‌باشد که نیمه‌زودرس بوده و دارای ارتفاع بوته ۹۰ سانتی‌متر، با میانگین وزن ۱۰۰۰ دانه ۳۵ گرم و مقاوم به ریزش دانه است. همچنین نخود ایرانی متوسطرس، با ارتفاع بوته ۲۸ سانتی‌متر، حالت نیمه‌ایستاده داشته که وزن ۱۰۰ دانه آن ۳۵۰ گرم می‌باشد و مساعد برای نواحی گرم و خشک است. با در نظر گرفتن نیاز غذایی برای دو گونه، میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و به‌صورت پیش‌کاشت از منبع سوپرفسفات تریپل و پتاسیم سولفات مصرف شد. نیتروژن از منبع اوره و به‌میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار در سه تقسیط مساوی مصرف شد. آبیاری‌ها به‌صورت ردیفی و در زمان ۲۵ درصد تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه انجام شد (Attarzadeh, Balouchi, Rajaie, Movahhedi Dehnavi, & Salehi, 2019). وجین علف‌های هرز در طول فصل رشد به‌صورت دستی و در چند نوبت انجام گرفت. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت یک میلی‌مولار، اسید جاسمونیک با غلظت ۱۰۰ میکرومولار و براسینواستروئید با غلظت یک میکرومولار (Ramakrishna & Rao, 2015) در سه مرحله

رشد برای هر دو گونه گیاهی شامل دوره‌های در حدود تقریباً مشابه از لحاظ زمانی شامل سه تـا چهـار برگـی، شـروع سـاقه‌دهـی و اوایـل گل‌دهی انجام شد.

اندازه‌گیری صفات

غلظت عناصر برگ

اوایل گل‌دهی در هر گونـه، پـنج بـرگ جـوان و بـالغ انتخـاب و نمونه‌گیری شد. برگ‌ها با آب مقطر شسته شدند و در آون به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سـپس آسـیاب شـدند. یک گرم از نمونه آسیاب‌شده در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سـانتی‌گراد قرار داده شد تا تبدیل به خاکستر شود. خاکستر به‌دست‌آمده بـا اسـید کلریدریک دو نرمال عصاره‌گیـری گردیـد و غلظـت عناصـر سـدیم و پتاسیم توسـط دسـتگاه فلیم‌فتـومتر (مـدل Jenway 7, German) قرائت شد. در نهایت، اعداد قرائت‌شده با استفاده از نمـودار حاصـل از نمونـه‌هـای اسـتاندارد تعـدیل شـدند (Patterson, Macrae, & Ferguson, 1984). اندازه‌گیری نیتروژن برگ پـس از هضـم نمونـه گیاهی براساس تیتراسیون بعد از تقطیر توسط دستگاه کجلـدال مـدل V40 انجام گردید (Lang, 1958).

صفات فیزیولوژیکی

بـرای انـدازه‌گیـری صـفات فیزیولوژیـک در مرحلـه گـل‌دهی از بوته‌های داخل مزرعه نمونه‌برداری شد.

جهت اندازه‌گیری شاخص سبزینگی (Spad) از دسـتگاه SPAD-502 ساخت کشور ژاپن استفاده شد. در هر تیمار، ۱۰ برگ انتخـاب و میانگین آن‌ها گزارش شد.

برای اندازه‌گیری کلروفیل فلورسانس از دسـتگاه Chlorophyll Fluorimeter مدل Hansatech LTD Pocket PEA ساخت کشور انگلستان استفاده شد. به این منظور، برگ‌های گیاهـان جـوان و بـالغ به‌مدت ۱۵ دقیقه جهـت سـازگاری بـه تـاریکی به‌وسـیله گیـره‌هـای مخصوص از تابش نور خورشید محافظـت شـدند. بعـد از گذشـت ۱۵ دقیقه، سنسور دستگاه داخل گیره‌ها قرار داده شد و نسبت فلورسـانس متغیر به فلورسانس حداکثر (Fv/Fm) ثبت شد.

با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ و عصاره‌گیری با اسـتون، میزان کلروفیل a و b به‌روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شـد (Arnon, 1949). جذب نور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Vis 2100 در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت شد و میزان کلروفیـل بـا استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شد.

$$\text{Chlorophyll a } (\text{mgg}^{-1}) = (12.7\times\text{OD}.663) - (2.69\times\text{OD}.645) \times \text{V}/1000\times\text{W} \quad (۱)$$

$$\text{Chlorophyll b } (\text{mgg}^{-1}) = (22.9\times\text{OD}.645) - (4.68\text{OD}.663) \times \text{V}/1000\times\text{W} \quad (۲)$$

که در آن‌ها، V: حجم نمونه، OD: میـزان جـذب و W: وزن تـر نمونه است.

عملکرد دانه و زیست‌توده

در هر دو سال، برداشـت در هـر کـرت از ردیـف‌هـای وسـط بـا مساحتی معادل یک مترمربع و با در نظر گرفتن نسبت مخلوط صورت گرفت. برای تعیین عملکرد زیست‌توده، نمونه‌ها توسط آون در دمـای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۷۲ سـاعت خشـک و سـپس به‌وسـیله ترازوی دقیق توزین شدند. عملکرد دانـه پـس از جداسـازی و تـوزین دانه‌ها گزارش شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات مختلف با استفاده از نرم‌افـزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. آزمون بارتلت روی کلیه صفات مورد بررسی انجام شد. هنگامی‌که واریانس خطای صفات در دو سال متوالی با یکدیگر همگون بودند، مقایسه میانگین این صفات به‌صورت تجزیه مرکب صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با اسـتفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. در صورت معنی‌دار بـودن اثـر متقابـل، بـرش‌دهـی انجـام و مقایسـه میانگین‌ها با استفاده از رویه L.S.Means انجام گردید.

نتایج و بحث

غلظت سدیم، پتاسیم و نیتروژن

اثر آرایش کاشت، تنظیم‌کننده رشد گیاه و سال بر غلظت سـدیم برگ نخود و جو معنی‌دار بود، ولی این صفت تحت تـأثیر بـرهم‌کنش عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۲). همچنین بـرهم‌کنش آرایـش کاشت و تنظیم‌کننده رشد گیاه و برهم‌کنش سال و تنظیم‌کننده رشـد گیاه بر غلظت پتاسیم و نیتروژن برگ نخود و جو معنی‌دار بود (جدول ۲).

در تیمار کشت مخلوط ۲۵ درصد نخود + ۷۵ درصد جـو، غلظـت سدیم برگ نخود و جـو در مقایسـه بـا کشـت خـالص ایـن دو گیـاه به‌ترتیب کاهش پنج و سه درصـدی نشـان داد (جـدول ۳). همچنـین کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود + ۵۰ درصد جو سبب کاهش معنـی‌دار سدیم نسبت به کشت خالص این دو گیاه شد. از سوی دیگر، غلظـت سدیم در گیاه نخود و جو در محلول‌پاشـی اسـید سالیسـیلیک و اسـید جاسمونیک نسبت به شاهد کاهش معنـی‌داری نشـان داد (جـدول ۴). غلظت سدیم برگ نخود و جو در سال دوم نسبت به سال اول کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۵).

کشت مخلوط دو گونه نخود و جو سبب افـزایش غلظـت پتاسـیم برگ نسبت به سیستم تک‌کشتی شـد (جـدول ۶). در کشـت خـالص نخود و جو، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسـمونیک سـبب

بهبود محتوای پتاسیم برگ نخود و جو گردید. همچنین در شرایط کشت مخلوط، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک تا حدودی توانست سبب جذب پتاسیم برگ نخود نسبت به شاهد گردد (جدول ۶). از سوی دیگر، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک سبب افزایش پتاسیم برگ نخود در سال‌های اول و دوم نسبت به شاهد شد (جدول ۷). در سال‌های اول و دوم، محلول‌پاشی اسید جاسمونیک به‌ترتیب سبب افزایش سه و پنج درصدی پتاسیم برگ جو نسبت به شاهد شد. محلول‌پاشی براسینواستروئید در سطح پایین‌تر توانست سبب بهبود جذب پتاسیم برگ نخود و جو شود (جدول ۷).

جدول ۲- نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای اثرات آرایش کاشت و تنظیم‌کننده رشد گیاه روی غلظت سدیم، پتاسیم، نیتروژن، شاخص سبزینگی و نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر در نخود و جو

Table 2- Analysis of variance for the effects of cropping system and plant growth regulators on the Na^+, K^+, N, spad and fv/fm of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	نخود Chickpeas					جو Barley				
		سدیم Na^+	پتاسیم K^+	نیتروژن N	اسید Spad	فلورسانس fv/fm	سدیم Na^+	پتاسیم K^+	نیتروژن N	اسید Spad	فلورسانس fv/fm
سال Year	1	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
بلوک Block	2	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
سیستم کشت Cropping system (C)	3	**	**	**	**	**	**	**	NS	**	**
بلوک× سیتم کشت Block × C (E_a)	6	0.191	0.084	0.008	7.45	0.0019	0.679	0.597	0.012	10.42	0.0084
تنظیم‌کننده رشد Plant growth regulators (PGR)	3	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
سیستم کشت× تنظیم‌کننده رشد C × PGR	9	NS	*	*	NS	NS	NS	**	*	NS	NS
بلوک× تنظیم‌کننده رشد Block × PGR (E_b)	24	0.520	0.095	0.001	1.147	0.0002	0.230	0.072	0.008	1.30	0.0013
سیستم کشت× سال C× year	3	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
بلوک× سیستم کشت× سال Block × C × year (Ec)	8	0.662	0.090	0.032	9.67	0.0057	0.358	0.229	0.008	5.28	0.0010
تنظیم‌کننده رشد× سال PGR × year	3	NS	*	*	NS	NS	NS	*	*	NS	NS
سیستم کشت× تنظیم‌کننده رشد× سال C × PGR × year	9	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
خطا Error	24	0.398	0.140	0.002	2.88	0.0004	0.343	0.111	0.005	1.45	0.0011
ضریب خطا CV (%)	-	11.2	9.3	10.1	14.1	10.5	10.3	8.2	12.1	12.7	9.4

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم تفاوت معنی‌داری.

*, ** and ns: are significant at the 5 and 1 percent of probability levels and non-significant, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر آرایش کاشت بر صفات اندازه‌گیری‌شده نخود و جو

Table 3- Mean comparison for the effect of intercropping on the measured traits of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.)

سیستم کشت Cropping system	نخود Chickpeas				جو Barley			
	سدیم Na^+ ($mg\ g^{-1}$ leaf dry weight	اسپد Spad	فلورسانس کلروفیل fv/fm	کلروفیل a Chlorophyll a ($mg\ g^{-1}$ fresh weight)	سدیم Na^+ ($mg\ g^{-1}$ leaf dry weight	اسپد Spad	فلورسانس کلروفیل fv/fm	کلروفیل a Chlorophyll a ($mg\ g^{-1}$ fresh weight)
تک‌کشتی Sole cropping	29.25 a*	37.83 b	0.728 b	1.88 c	25.29 a	41.77 b	0.702 c	1.91 b
۷۵ درصد نخود ایرانی + ۲۵ درصد جو 75% chickpeas + 25% Barley	28.80 b	41.20 a	0.767 a	1.97 b	25.33 a	42.80 ab	0.792 ab	2.00 a
۵۰ درصد نخود ایرانی + ۵۰ درصد جو 50% chickpeas + 50% Barley	28.13 c	43.00 a	0.764 a	2.00 a	24.70 b	44.30 a	0.824 a	2.03 a
۲۵ درصد نخود ایرانی + ۷۵ درصد جو 25% chickpeas + 75% Barley	27.86 c	42.37 a	0.759 ab	1.99 ab	24.55 b	43.95 ab	0.756 bc	2.03 a

* براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف هر ستون نمایانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند.

* Different letters indicate significant differences (5%) based on Duncan's multiple range tests in each column.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر تنظیم‌کننده رشد گیاه بر صفات اندازه‌گیری‌شده نخود و جو

Table 4- Mean comparison for the effect of plant growth regulators on the measured traits of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.)

تنظیم‌کننده رشد Plant growth regulators	نخود Chickpeas				جو Barley			
	سدیم Na^+ ($mg\ g^{-1}$ leaf dry weight	اسپد Spad	فلورسانس کلروفیل fv/fm	کلروفیل b Chlorophyll b ($mg\ g^{-1}$ fresh weight)	سدیم Na^+ ($mg\ g^{-1}$ leaf dry weight	اسپد Spad	فلورسانس کلروفیل fv/fm	کلروفیل b Chlorophyll b ($mg\ g^{-1}$ fresh weight)
شاهد Control	28.96 a	39.64 c	0.738 c	0.886 c	25.43 a	42.34 b	0.741 b	0.867 c
اسید سالیسیلیک Salicylic acid	28.10 b	42.12 a	0.765 a	0.942 a	24.55 b	43.78 a	0.787 a	0.942 ab
اسید جاسمونیک Jasmonic acid	28.29 b	42.08 a	0.764 a	0.936 a	24.67 b	43.79 a	0.785 a	0.958 a
براسینواستروئید Brassinosteroid	28.69 a	40.56 b	0.750 b	0.910 b	25.21 a	42.92 b	0.768 a	0.910 b

* براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف هر ستون نمایانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند.

* Different letters indicate significant differences (5%) based on Duncan's multiple range tests in each column.

افزایش غلظت نیتروژن برگ در کشت مخلوط نخود و جو نسبت به سیستم تک‌کشتی مشاهده شد (جدول ۶). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک سبب افزایش هفت درصدی غلظت نیتروژن برگ نخود نسبت به شاهد در کشت خالص گردید. بیشترین غلظت نیتروژن برگ نخود در شرایط کشت مخلوط ۲۵ درصد نخود + ۷۵ درصد جو در محلول‌پاشی جاسمونیک مشاهده شد (جدول ۶). همچنین محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک سبب افزایش نیتروژن برگ جو در شرایط کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود + ۲۵ درصد جو شد (جدول ۶). از سوی دیگر، در سال‌های اول و دوم، بیشترین غلظت نیتروژن برگ نخود و جو در محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک مشاهده شد (جدول ۷).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سال بر سدیم، شاخص سبزینگی و نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر در نخود و جو

Table 5- Mean comparison for the effect of year on the Na^+, spad and fv/fm of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.)

سال Year	نخود Chickpeas			جو Barley		
	سدیم Na^+ (mg g^{-1} leaf dry weight	اسپد Spad	فلورسانس کلروفیل fv/fm	سدیم Na^+ (mg g^{-1} leaf dry weight	اسپد Spad	فلورسانس کلروفیل fv/fm
۱۴۰۰ 2021	28.91 a	40.12 b	0.706 b	25.68 a	42.26 b	0.757 b
۱۴۰۱ 2022	28.11 b	42.09 a	0.803 a	24.26 b	44.15 a	0.780 a

* براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف هر ستون نمایانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند.

* Different letters indicate significant differences (5%) based on Duncan's multiple range tests in each column.

نتایج این آزمایش نشان داد که کمترین تجمع یون سدیم با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک اتفاق افتاد. وجود تنظیم‌کننده‌های رشد مثل اسید سالیسیلیک از طریق کاهش انتقال سدیم از ریشه به اندام‌های هوایی، تجمع سدیم را محدود کند (Ghassemi-Golezani & Farhadi, 2021). همچنین کاربرد اسید جاسمونیک می‌تواند سبب تغییر در نسبت پتاسیم به سدیم، تنظیم اسمزی و هموستازی یونی تحت تنش شوری شود (Lotfi *et al.*, 2024). مطابق با نتایج این پژوهش، محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه در تلفیق با سامانه کشت مخلوط سبب افزایش جذب عناصر غذایی نیتروژن شد. ممکن است اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک با تنظیم فعالیت پمپ H^+ATP_{ase} و ژن‌های دخیل در جذب پتاسیم مانعی برای انتقال سدیم ایجاد کند (Ghassemi-Golezani & Abdoli, 2021). در نتیجه ممکن است که استفاده از اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک، تأثیر قابل توجهی بر جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن داشته باشد. از سوی دیگر، در سیستم‌های کشت مخلوط، گیاهان نقش مستقیم یا غیرمستقیم در تنظیم نسبت سدیم به پتاسیم و یا اصلاح خاک در شرایط تنش شوری دارند (Guerchi *et al.*, 2024). گزارش شده است که در شرایط خاک‌های شور، استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط به‌دلیل تغییر در تجمع سدیم، تا حدودی سبب تغییر در وضعیت شوری در خاک‌های زراعی و جذب عناصر غذایی می‌گردند (Ghaffarian *et al.*, 2020). کشت مخلوط نخود و جو نسبت به سیستم تک‌کشتی سبب افزایش غلظت نیتروژن برگ شد. کشت مخلوط به‌طور قابل توجهی در کاهش جنبه‌های منفی تنش شوری در جذب عناصر غذایی کمک می‌کند. حبوبات که به‌دلیل قابلیت‌های بیولوژیکی تثبیت نیتروژن استثنایی آن‌ها شناخته می‌شوند، دسترسی و جذب نیتروژن را در شرایط تنش شوری تغییر می‌دهند (Kirova & Kocheva, 2021). بنابراین تعامل بین دو گونه در سیستم‌های کشت مخلوط ممکن است سبب دسترسی بیشتر به عناصر غذایی شود (Li *et al.*, 2023).

شاخص سبزینگی و نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر

اثر آرایش کاشت، تنظیم‌کننده رشد گیاه و سال بر شاخص سبزینگی و نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر نخود و جو معنی‌دار بود، ولی این صفات تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۲).

افزایش شاخص سبزینگی گیاه نخود در کشت مخلوط نخود و جو با درصدهای مختلف نسبت به سیستم تک‌کشتی مشاهده شد (جدول ۳). همچنین استفاده از سامانه کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود + ۵۰ درصد جو سبب افزایش شاخص سبزینگی گیاه جو به‌میزان شش درصد نسبت به سامانه تک‌کشتی این گیاه گردید (جدول ۳). همچنین محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک به‌ترتیب سبب افزایش شش و شش درصدی شاخص سبزینگی گیاه نخود نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). شاخص سبزینگی گیاه جو در محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک و در سطح پایین‌تر براسینواستروئید نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). شاخص سبزینگی برگ نخود و جو در سال دوم نسبت به سال اول افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۵).

استفاده از سامانه‌های مختلف کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود + ۲۵ درصد جو و کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود + ۵۰ درصد جو سبب افزایش نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر برگ نخود و جو نسبت به سامانه تک‌کشتی این گیاه گردید (جدول ۳). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک به‌ترتیب سبب افزایش معنی‌دار چهار و سه درصدی نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر گیاه نخود نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). همچنین محلول‌پاشی تنظیم‌کننده رشد گیاه شامل اسید سالیسیلیک، اسید جاسمونیک و براسینواستروئید توانست سبب افزایش نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر در گیاه جو شود (جدول ۴). همچنین بیشترین

نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر برگ نخود و جو در سال دوم مشاهده شد (جدول ۵).

بالاتر بودن شاخص سبزینگی و نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر در گیاه نخود و جو در سال دوم نسبت به سال اول، احتمالاً بـه‌دلیل بارندگی بیشتر در سال دوم و اختلاف در شرایط آب‌وهوایی در دو سال می‌باشد. از سوی دیگر، تنش شوری از طریق ایجاد تنش اکسیداتیو منجر به افزایش تولید و تجمع رادیکال‌های فعال می‌شود که به‌نوبه خود تخریب ساختار غشاء و ساختمان کلروفیل را به‌دنبال دارد (García-Caparrós, Hasanuzzaman, & Lao, 2019).

جدول ٦- مقایسه میانگین برهم‌کنش اثر آرایش کاشت و تنظیم‌کننده رشد بر صفات اندازه‌گیری‌شده نخود و جو

Table 6- Mean comparison for the effect of intercropping and plant growth regulators on the measured traits of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.)

سیستم کشت Cropping system	تنظیم‌کننده رشد Plant growth regulators	نخود Chickpeas: پتاسیم K^+ (mg g^{-1} leaf dry weight)	نیتروژن N (%)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	جو Barley: پتاسیم K^+ (mg g^{-1} leaf dry weight)	نیتروژن N (%)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})
تک‌کشتی Sole cropping	شاهد Control	10.29 b	1.61 b	2979 b	814 c	11.54 b	1.51 a	8386 b	2643 b
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	10.94 a	1.73 a	3208 a	863 a	12.10 a	1.56 a	8954 a	2841 a
	اسید جاسمونیک Jasmonic acid	10.86 a	1.69 ab	3174 a	856 ab	11.98 ab	1.57 a	8854 a	2820 a
	براسینواستروئید Brassinosteroid	10.39 b	1.64 ab	3034 b	825 bc	11.62 ab	1.56 a	8759 a	2760 ab
۷۵ درصد نخود ایرانی + ۲۵ درصد جو 75% chickpeas + 25% barley	شاهد Control	10.79 b	1.67 a	3092 c	840 c	11.95 a	1.77 b	9427 c	2822 b
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	11.53 a	1.77 a	3370 a	924 a	12.27 a	1.97 a	10135 ab	2988 a
	اسید جاسمونیک Jasmonic acid	11.49 a	1.76 a	3285 ab	908 ab	12.18 a	1.97 a	10326 a	2932 ab
	براسینواستروئید Brassinosteroid	11.21 a	1.73 a	3209 b	890 b	12.18 a	1.87 ab	9861 b	2869 ab
۵۰ درصد نخود ایرانی + ۵۰ درصد جو 50% chickpeas + 50% barley	شاهد Control	11.11 b	1.73 a	3251 b	890 b	12.18 b	1.68 a	9663 b	2927 b
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	11.57 a	1.76 a	3455 a	916 ab	12.41 ab	1.76 a	10861 a	3019 ab
	اسید جاسمونیک Jasmonic acid	11.79 a	1.78 a	3403 a	933 a	12.54 a	1.78 a	10731 a	3125 a
	براسینواستروئید Brassinosteroid	11.41 ab	1.74 a	3284 b	910 ab	12.26 ab	1.74 a	10381 ab	2993 ab
۲۵ درصد نخود ایرانی + ۷۵ درصد جو 25% chickpeas + 75% barley	شاهد Control	11.02 b	1.73 b	3111 c	879 b	12.19 a	1.64 a	9000 b	2799 b
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	11.55 a	1.78 ab	3283 ab	897 ab	12.39 a	1.68 a	9475 a	3083 a
	اسید جاسمونیک Jasmonic acid	11.65 a	1.81 a	3312 a	917 a	12.59 a	1.70 a	9576 a	2983 a
	براسینواستروئید Brassinosteroid	11.45 ab	1.78 ab	3205 b	877 b	12.44 a	1.64 a	9497 a	2938 ab

* براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف در هر ستون و هر آرایش کاشت اختلاف معنی‌داری با رویه L.S. Means در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Different letters indicate on Duncan's multiple range tests in each column and every cropping system has a not significant difference with the procedure of L.S. Means at the 5% probability level.

جدول ۷- مقایسه میانگین برهم‌کنش اثر سال و تنظیم‌کننده رشد بر صفات اندازه‌گیری‌شده نخود و جو

Table 7- Mean comparison for the effect of year and plant growth regulators on the measured traits of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.)

سال Year	تنظیم‌کننده رشد Plant growth regulators	نخود Chickpeas: پتاسیم K^+ (mg g^{-1} leaf dry weight)	نخود Chickpeas: نیتروژن N (%	نخود Chickpeas: کلروفیل a Chlorophyll a (mg g^{-1} fresh weight)	جو Barle: پتاسیم K^+ (mg g^{-1} leaf dry weight)	جو Barle: نیتروژن N (%)	جو Barle: کلروفیل a Chlorophyll a (mg g^{-1} fresh weight)
۱۴۰۰ 2021	شاهد Control	10.62 c	1.56 c	1.90 b	11.90 b	1.67 b	1.87 c
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	11.32 a	1.65 ab	2.00 a	12.21 a	1.75 a	2.01 a
	اسید جاسمونیک Jasmonic acid	11.38 a	1.66 a	2.00 a	12.25 a	1.74 a	2.00 ab
	براسینواستروئید Brassinosteroid	11.01 b	1.61 bc	1.94 ab	12.08 a	1.68 b	1.94 b
۱۴۰۱ 2022	شاهد Control	10.68 b	1.77 b	1.87 b	11.87 b	1.56 c	1.92 b
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	11.38 a	1.85 a	1.97 a	12.22 a	1.86 a	2.05 a
	اسید جاسمونیک Jasmonic acid	11.61 a	1.87 a	2.00 a	12.45 a	1.73 b	2.08 a
	براسینواستروئید Brassinosteroid	11.52 a	1.88 a	1.99 a	12.42 a	1.69 b	2.07 a

* براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف در هر ستون و هر سال اختلاف معنی‌داری با رویه L.S. Means در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Different letters indicate on Duncan's multiple range tests in each column and every year has a not significant difference with the procedure of L.S. Means at the 5% probability level.

کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مثل اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری با کاهش تخریب غشاء سلولی سبب کاهش خسارت وارد به گیاه در اثر تنش شوری می‌شود (Pai & Sharma, 2024). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک با القاء بیان ژن‌های خاص و تأثیر مثبت آن بر یکپارچگی غشاء سلولی سبب کاهش خسارت تنش شوری می‌گردند (Farhangi-Abriz & Ghassemi-Golezani, 2018). در این پژوهش، سامانه کشت مخلوط، شرایط را برای جذب بیشتر عناصر غذایی و به‌خصوص پتاسیم فراهم آورد. بنابراین، دور از انتظار نیست که در سامانه کشت مخلوط، میزان خسارت به شاخص سبزینگی کمتری مشاهده شود. از سوی دیگر، محققان گزارش کردند که استفاده از گیاهان متحمل به تنش شوری در کشت مخلوط، شرایط بهتری برای رشد سایر گیاهان در شرایط تنش شوری فراهم می‌نماید (Ghaffarian *et al.*, 2020).

محتوای کلروفیل a و b

اثر آرایش کاشت و برهم‌کنش سال و تنظیم‌کننده رشد گیاه روی محتوای کلروفیل a برگ نخود و جو معنی‌دار بود (جدول ۸). همچنین اثر تنظیم‌کننده رشد گیاه و برهم‌کنش سال و آرایش کاشت، محتوای کلروفیل b برگ گیاه نخود و جو را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد.

بیشترین محتوای کلروفیل a برگ نخود در شرایط کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود+ ۵۰ درصد جو و کشت مخلوط ۲۵ درصد نخود+ ۷۵ درصد جو مشاهده شد (جدول ۳). از سوی دیگر، محتوای کلروفیل a برگ جو در سامانه‌های کشت مخلوط نسبت به سیستم تک‌کشتی افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). از سوی دیگر، در سال‌های اول و دوم محتوای کلروفیل a برگ نخود و جو در محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، اسید جاسمونیک و براسینواستروئید نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۷).

بیشترین محتوای کلروفیل b برگ نخود در محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک مشاهده شد که نسبت به شاهد به‌ترتیب افزایش شش و پنج درصدی نشان داد، همچنین براسینواستروئید توانست در سطح پایین‌تر نسبت به دیگر تنظیم‌کننده‌های رشد سبب بهبود میزان کلروفیل b در برگ نخود شود (جدول ۴). همچنین محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، اسید جاسمونیک و براسینواستروئید توانست سبب بهبود کلروفیل b برگ جو شود (جدول ۴).

جدول ۸- نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای اثرات آرایش کاشت و تنظیم‌کننده رشد گیاه روی محتوای کلروفیل a و b، عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه در نخود و جو

Table 8- Analysis of variance for the effects of cropping system and plant growth regulators on the chlorophyll a, chlorophyll b, biological yield and grain yield of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	نخود Chickpeas				جو Barley			
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
سال Year	1	*	**	**	**	*	**	NS	**
Block							NS	**	NS
سیستم کشت Cropping system (C)	3	**	**	**	**	**	**	**	**
بلوک× سیتم کشت Block × C (E_a)	6	0.761	0.007	19388	345	0.011	0.014	12440242	7462
تنظیم‌کننده رشد Plant growth regulators (PGR)	3	**	**	**	**	**	**	**	**
سیستم کشت× تنظیم‌کننده رشد C × PGR	9	NS	NS	*	*	NS	NS	*	*
بلوک× تنظیم‌کننده رشد Block × PGR (E_b)	24	0.003	0.0008	4403	442	0.004	0.004	128475	12952
سیستم کشت× سال C× year	3	NS	*	*	*	NS	*	**	*
بلوک× سیستم کشت× سال Block × C × year (Ec)	8	0.0041	0.016	12901	323	0.011	0.003	1107657	22799
تنظیم‌کننده رشد× سال PGR × year	3	*	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
سیستم کشت× تنظیم‌کننده رشد× سال C × PGR × year	9	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
خطا Error	24	0.003	0.001	6422	656	0.006	0.002	117382	14053
ضریب خطا CV (%)	-	9.5	7.4	13.6	12.4	10.0	8.8	15.8	14.0

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم تفاوت معنی‌داری.

**, *and ns are significant at the 5 and 1 percent of probability levels and non-significant, respectively.

جدول ۹- مقایسه میانگین برهم‌کنش اثر سال و آرایش کاشت بر صفات اندازه‌گیری‌شده نخود و جو

Table 9- Mean comparison for the effect of year and intercropping on the measured traits of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.)

سال Year	سیستم کشت Cropping system	نخود Chickpeas			جو Barle		
		کلروفیل b Chlorophyll b (mg g^{-1} fresh weight)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	کلروفیل b Chlorophyll b (mg g^{-1} fresh weight)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})
۱۴۰۰ 2021	تک‌کشتی Sole cropping	0.827 b	2994 c	834 b	0.814 c	8657 b	2719 c
	۷۵ درصد نخود ایرانی + ۲۵ درصد جو 75% chickpeas + 25% barley	0.865 a	3095 b	883 a	1.05 a	10275 a	2815 bc
	۵۰ درصد نخود ایرانی + ۵۰ درصد جو 50% chickpeas + 50% barley	0.885 a	3199 a	896 a	0.945 b	10351 a	2966 a
	۲۵ درصد نخود ایرانی + ۷۵ درصد جو 25% chickpeas + 75% barley	0.880 a	3081 b	883 a	0.888 bc	9132 b	2892 ab
۱۴۰۰ 2022	تک‌کشتی Sole cropping	0.922 a	3203 c	845 c	0.795 c	8819 c	2812 b
	۷۵ درصد نخود ایرانی + ۲۵ درصد جو 75% chickpeas + 25% barley	0.963 a	3383 b	898 b	1.03 a	9600 b	2990 a
	۵۰ درصد نخود ایرانی + ۵۰ درصد جو 50% chickpeas + 50% barley	1.03 a	3498 a	929 a	0.930 b	10466 a	3066 a
	۲۵ درصد نخود ایرانی + ۷۵ درصد جو 25% chickpeas + 75% barley	0.979 a	3375 b	903 b	0.898 b	9642 b	3010 a

* براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف مختلف در هر ستون و هر سال اختلاف معنی‌داری با رویه L.S. Means در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Different letters indicate on Duncan's multiple range tests in each column and every year has a not significant difference with the procedure of L.S. Means at the 5% probability level.

در سال اول، محتوای کلروفیل b بـرگ نخـود در سـامانه کشـت مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش معنی‌داری نشـان داد (جـدول ۹). از سوی دیگر، در سال‌های اول و دوم بیشترین محتـوای کلروفیـل b برگ جو در کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود + ۵۰ درصد جـو و کشـت مخلوط ۷۵ درصد نخود + ۲۵ درصد جو مشاهده شد (جدول ۹).

توانایی گیاه برای حذف سدیم از سیتوزول سـبب افـزایش جـذب آب و حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود (Wungrampha, Joshi, Singla-Pareek, & Pareek, 2018). محققـان اظهـار داشـتند کـه افزایش غلظت نیتروژن برگ و فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو سـبب سنتز بیشتر کلروفیل برگ می‌گردد (Yang, Ravnskov, Pullens, & Andersen, 2022). هم‌چنین جذب بهتـر عناصـر غـذایی سـبب حفظ تثبیت دی‌اکسیدکربن، فتوسنتز بیشتر و محافظت از کلروپلاست در شرایط تنش‌های محیطی می‌گـردد (Attarzadeh *et al*., 2019). از سوی دیگر، استفاده از محلول‌پاشـی تنظیم‌کننـده‌هـای رشـد گیـاه تحـت تـنش شـوری بـه‌دلیل حفـظ ظرفیت‌هـای سوخت‌وسـاز و فعالیت‌های فیزیولوژیکی برای گیاه نقش حفـاظتی دارد (Farhangi-Abriz & Ghassemi-Golezani, 2018). نتـایج ایـن آزمـایش، فرضیه اثرات هم‌افزایی کشت مخلوط را نسبت به کشت خالص گیـاه

مورد تأیید قرار داد. تغییرات مثبت در سامانه کشت مخلوط را می‌توان به جذب متنوع یون‌ها توسط گیاهان، تغییرات در حلالیت یون و برهم‌کنش بین یون‌ها مرتبط دانست (Guerchi *et al.*, 2024). بنابراین سامانه کشت مخلوط به‌دلیل بهره‌وری بالا و استفاده بهینه از منابع سبب افزایش جذب آب و بهبود ظرفیت فتوسنتزی می‌گردد (Yin *et al.*, 2020).

عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه

عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه گیاه نخود و جو تحت تأثیر برهم‌کنش آرایش کاشت و تنظیم‌کننده رشد گیاه و برهم‌کنش سال و آرایش کاشت قرار گرفت (جدول ۸).

کشت مخلوط دو گونه نخود و جو سبب افزایش عملکرد زیست‌توده نسبت به سیستم تک‌کشتی شد (جدول ۶). در کشت خالص نخود و جو، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک سبب بهبود عملکرد زیست‌توده نخود و جو شد. همچنین در شرایط کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود + ۲۵ درصد جو، استفاده از محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک سبب افزایش به‌ترتیب نه و هشت درصدی عملکرد زیست‌توده نخود و جو نسبت به شاهد شد (جدول ۶). در هر حال، افزایش عملکرد زیست‌توده گیاه نخود و جو در شرایط کشت مخلوط با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک مشاهده شد. از سوی دیگر در سال اول، بیشترین عملکرد زیست‌توده نخود و جو به‌ترتیب با میزان ۳۱۹۹ و ۱۰۳۵۱ کیلوگرم در هکتار در کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود + ۵۰ درصد جو مشاهده شد (جدول ۹). همچنین در سال دوم، کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود + ۵۰ درصد جو به‌ترتیب سبب افزایش ۹ و ۱۸ درصدی عملکرد زیست‌توده نخود و جو نسبت به کشت خالص شد.

محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک سبب بهبود عملکرد دانه نخود و جو در کشت خالص گردید (جدول ۶). همچنین بیشترین عملکرد دانه نخود و جو در شرایط کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود + ۲۵ درصد جو، با استفاده از محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک مشاهده شد (جدول ۶). در هر حال، افزایش عملکرد دانه گیاه نخود و جو در سایر شرایط کشت مخلوط با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک مشاهده شد. از سوی دیگر در سال اول، استفاده از سامانه کشت مخلوط سبب افزایش عملکرد دانه در نخود شد (جدول ۹). همچنین در سال دوم، کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود + ۵۰ درصد جو سبب افزایش معنی‌داری ۱۰ درصدی عملکرد دانه نخود نسبت به کشت خالص شد. همچنین بیشترین عملکرد دانه جو در سال‌های اول و دوم به‌ترتیب با میزان ۲۹۶۶ و ۳۰۶۶ کیلوگرم در هکتار در کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود + ۵۰ درصد جو مشاهده شد (جدول ۹).

عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه در سال دوم نسبت به سال اول افزایش نشان داد. دلیل این تفاوت را می‌توان احتمالاً میزان بارندگی بیشتر و پایین‌تر بودن دما در طول مدت زمان تشکیل دانه در سال دوم نسبت به سال اول دانست. در نتیجه، اختلاف در شرایط آب‌وهوایی منجر به افزایش قابل توجه عملکرد در سال دوم نسبت به سال اول شد. در شرایط نامساعد محیطی مثل تنش شوری، تفاوت‌های ژنتیکی گونه‌های مختلف و شرایط مختلف محیطی باعث تغییر در جذب عناصر غذایی و صفات فیزیولوژیک می‌شود که بر رشد گیاه و عملکرد دانه تأثیرگذار است (Ghaffarian *et al.*, 2020). از سوی دیگر، افزایش در میزان عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه در سامانه‌های کشت مخلوط به‌دلیل ساختار متفاوت گونه‌های مختلف بوده است. بررسی کشت مخلوط در شرایط تنش شوری نشان داد که استفاده از گیاهان مختلف در سامانه‌های کشت مخلوط می‌تواند یک راهکار کاربردی جهت افزایش عملکرد زیست‌توده در شرایط شور باشد (Kurdali, Janat, & Khalifa, 2003). در شرایط تنش‌های محیطی، استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط جو با نخود راهکاری مناسب برای تولید پایدارتر این گیاهان نسبت به تک‌کشتی می‌باشد (Mohavieh Asadi, Bijanzadeh, Behpouri, & Barati, 2020). بنابراین استفاده از کشت مخلوط نخود و جو باعث کاهش رقابت درون گونه‌ای به‌ویژه رقابت بر سر نور و عناصر غذایی شده و در نتیجه باعث افزایش عملکرد می‌شود. هر چند در برخی گزارش‌ها در شرایط نرمال محیطی، عملکرد بیشتر در کشت خالص نسبت به سامانه کشت مخلوط غلات و حبوبات مثل جو و ماشک (*Vicia villosa* Roth) گزارش شده است (Kahraryan & Fatemi, 2023). بهبود عملکرد دانه در سامانه‌های کشت مخلوط می‌تواند به کمتر بودن رقابت و همچنین اثرات مکملی بیشتر گونه‌ها در این سامانه‌ها باشد (Yang *et al.*, 2017). از سوی دیگر، تنظیم‌کننده اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک نقش اساسی در پاسخ‌های سیگنالینگ گیاه دارند. آن‌ها با تنظیم طیف وسیعی از فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله فتوسنتز، متابولیسم نیتروژن و پرولین و با فعال کردن سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی، از گیاهان در برابر تنش‌های غیرزنده محافظت کرده و باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (Mohi-Ud-Din, Talukder, & Rohman, 2021).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که به‌دلیل وجود تنش شوری و جذب سدیم، اختلال در جذب عناصر غذایی و شاخص‌های فتوسنتزی حاصل شد. از سوی دیگر، عوامل نامساعد محیطی مانند تنش شوری ممکن است با تغییر در سطوح درون‌زای هورمون‌های گیاهی و یا مسیرهای پیام‌سانی باعث کاهش رشد و بهره‌وری گیاه شوند. بنابراین،

محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نقش مهمی در پاسخ گیاه به تنش‌های غیرزنده دارند. این تأثیرات پیچیده هستند و از طریق جذب آب، عناصر غذایی و بیان ژن‌های مؤثر در پاسخ به تنش شوری اعمال می‌گردند. محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی با کاهش جذب سدیم و افزایش جذب عناصر غذایی سبب بهبود رشد شد. همچنین استفاده از سامانه کشت مخلوط بر ویژگی‌های مهم مثل جذب نیتروژن و رنگدانه‌های فتوسنتزی تأثیر مثبت داشت. چنین به نظر می‌رسد که استفاده از سامانه کشت مخلوط به‌صورت ردیفی باعث کاهش رقابت درون گونه‌ای به‌ویژه رقابت بر سر نور و عناصر غذایی شده و در نتیجه باعث افزایش عملکرد در سامانه کشت مخلوط نسبت به کشت خالص شود. همچنین به نظر می‌رسد که کشت مخلوط نخود و جو موجب کاهش اثرات تنش شوری روی نخود شده که گونه‌ای حساس به شوری است. در نتیجه تأثیر کشت مخلوط دو گونه و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر افزایش عملکرد در شرایط تنش شوری یک نتیجه موفقیت‌آمیز بود. بنابراین، کشت مخلوط همراه با استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی می‌تواند برای اطمینان از پایداری تولید در شرایط تنش شوری استفاده شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس و دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا که صمیمانه در انجام این تحقیق یاری نمودند، تشکر می‌گردد.

References

1. Ahammed, G. J., Li, X., Liu, A., & Chen, S. (2020). Brassinosteroids in plant tolerance to abiotic stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, *39*(4), 1451-1464. https://doi.org/10.1007/s00344-020-10098-0
2. Ali, M. S., & Baek, K. H. (2020). Jasmonic acid signaling pathway in response to abiotic stresses in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(2), 621. https://doi.org/10.3390/ijms21020621
3. Arif, Y., Sami, F., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salicylic acid in relation to other phytohormones in plant: A study towards physiology and signal transduction under challenging environment. *Environmental and Experimental Botany*, *175*, 104040. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104040
4. Arnon, D. E. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase (*Beta vulgaris*). *Plant Physiology*, *24*(1), 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1
5. Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Movahhedi Dehnavi, M., & Salehi, A. (2019). Growth and nutrient content of *Echinacea purpurea* as affected by the combination of phosphorus with arbuscular mycorrhizal fungus and *Pseudomonas fluorescens* bacterium under different irrigation regimes. *Journal of Environmental Management*, *231*, 182-188. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.040
6. Bhandari, S., & Nailwal, T. K. (2020). Role of brassinosteroids in mitigating abiotic stresses in plants. *Biologia*, *75*(12), 2203-2230. https://doi.org/10.2478/s11756-020-00587-8
7. Bi, Y., Zhou, P., Li, S., Wei, Y., Xiong, X., Shi, Y., Liu, N., & Zhang, Y. (2019). Interspecific interactions contribute to higher forage yield and are affected by phosphorus application in a fully-mixed perennial legume and grass intercropping system. *Field Crops Research*, *244*, 107636. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107636
8. Chamkhi, I., Cheto, S., Geistlinger, J., Zeroual, Y., Kouisni, L., Bargaz, A., & Ghoulam, C. (2022). Legume-based intercropping systems promote beneficial rhizobacterial community and crop yield under stressing conditions. *Industrial Crops and Products*, *183*, 114958. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114958
9. Desoky, E. S. M., Saad, A. M., El-Saadony, M. T., Merwad, A. R. M., & Rady, M. M. (2020). Plant growth-promoting rhizobacteria: Potential improvement in antioxidant defense system and suppression of oxidative stress for alleviating salinity stress in *Triticum aestivum* (L.) plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *30*, 101878. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101878
10. Farhangi-Abriz, S., & Ghassemi-Golezani, K. (2018). How can salicylic acid and jasmonic acid mitigate salt toxicity in soybean plants? *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *147*, 1010-1016. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.070
11. Farhangi-Abriz, S., Alaee, T., & Tavasolee, A. (2019). Salicylic acid but not jasmonic acid improved canola root response to salinity stress. *Rhizosphere*, *9*, 69-71. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2018.11.009
12. García-Caparrós, P., Hasanuzzaman, M., & Lao, M. T. (2019). Oxidative stress and antioxidant defense in plants under salinity. pp. 291-309 in M. Hasanuzzaman, K. R. Hakeem, K. Nahar, and A. Alharby (eds.) *Reactive Oxygen, Nitrogen and Sulfur Species in Plants: Production, Metabolism, Signaling and Defense Mechanisms*. Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ. https://doi.org/10.1002/9781119468677.ch12
13. Ghaffarian, M. R., Yadavi, A., Movahhedi Dehnavi, M., Dabbagh Mohammadi Nassab, A., & Salehi, M. (2020). Improvement of physiological indices and biological yield by intercropping of *Kochia* (*Kochia scoparia*), *Sesbania* (*Sesbania aculeata*) and *Guar* (*Cyamopsis tetragonoloba*) under the salinity stress of irrigation water. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *26*(6), 1319-1330. https://doi.org/10.1007/s12298-020-00833-y
14. Ghassemi-Golezani, K., & Abdoli, S. (2021). Improving ATPase and PPase activities, nutrient uptake and growth

of salt stressed ajowan plants by salicylic acid and iron-oxide nanoparticles. *Plant Cell Reports*, *40*(3), 559-573. https://doi.org/10.1007/s00299-020-02652-7
15. Ghassemi-Golezani, K., & Farhadi, N. (2021). The efficacy of salicylic acid levels on photosynthetic activity, growth, and essential oil content and composition of pennyroyal plants under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, *41*(8), 1-13. https://doi.org/10.1007/s00344-021-10515-y
16. Ghassemi-Golezani, K., & Farhangi-Abriz, S. (2018). Foliar sprays of salicylic acid and jasmonic acid stimulate H+-ATPase activity of tonoplast, nutrient uptake and salt tolerance of soybean. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *166*, 18-25. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.09.059
17. Ghorbel, M., Brini, F., Sharma, A., & Landi, M. (2021). Role of jasmonic acid in plants: The molecular point of view. *Plant Cell Reports*, *40*(8), 1471-1494. https://doi.org/10.1007/s00299-021-02687-4
18. Glaze-Corcoran, S., Hashemi, M., Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Afshar, R. K., Liu, X., & Herbert, S. J. (2020). Understanding intercropping to improve agricultural resiliency and environmental sustainability. *Advances in Agronomy*, *162*, 199-256. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.004
19. Guerchi, A., Mnafgui, W., Jabri, C., Merghni, M., Sifaoui, K., Mahjoub, A., Ludidi, N., & Badri, M. (2024). Improving productivity and soil fertility in *Medicago sativa* and *Hordeum marinum* through intercropping under saline conditions. *BMC Plant Biology*, *24*(1), 158. https://doi.org/10.1186/s12870-024-04820-3
20. Hafeez, M. B., Zahra, N., Zahra, K., Raza, A., Batool, A., Shaukat, K., & Khan, S. (2021). Brassinosteroids: Molecular and physiological responses in plant growth and abiotic stresses. *Plant Stress*, *2*, 100029. https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100029
21. Hassoon, A. S., & Abduljabbar, I. A. (2019). Review on the role of salicylic acid in plants. Pp. 61-64 in T. A. Alalwan (ed.) *Sustainable Crop Production*. IntechOpen, London. https://doi.org/10.5772/intechopen.89107
22. Hayat, K., Bundschuh, J., Jan, F., Menhas, S., Hayat, S., Haq, F., Shah, M. A., Chaudhary, H. J., Ullah, A., & Zhang, D. (2020). Combating soil salinity with combining saline agriculture and phytomanagement with salt-accumulating plants. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *50*(11), 1085-1115. https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1646087
23. Hewedy, O. A., Elsheery, N. I., Karkour, A. M., Elhamouly, N., Arafa, R. A., Mahmoud, G. A. E., Dawood, M. F. A., Hussein, W. E., Mansour, A., & Amin, D. H. (2023). Jasmonic acid regulates plant development and orchestrates stress response during tough times. *Environmental and Experimental Botany*, *208*, 105260. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105260
24. Kahraryan, B., & Fatemi, R. (2023). The effect of intercropping additive on yield and yield components of spring barley and vetch. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(1), 35-46. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.349393.654945
25. Kirova, E., & Kocheva, K. (2021). Physiological effects of salinity on nitrogen fixation in legumes–A review. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(18), 2653-2662. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1921204
26. Kurdali, F., Janat, M., & Khalifa, K. (2003). Growth and nitrogen fixation and uptake in dhaincha/sorghum intercropping system under saline and non-saline conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *34*(17-18), 2471-2494. https://doi.org/10.1081/CSS-120024780
27. Lang, C. A. (1958). Simple micro determination of Kjeldahl nitrogen in biological materials. *Analytical Chemistry*, *30*(10), 1692-1694. https://doi.org/10.1021/ac60142a038
28. Li, B., Liu, J., Shi, X., Han, X., Chen, X., Wei, Y., & Xiong, F. (2023). Effects of belowground interactions on crop yields and nutrient uptake in maize-faba bean relay intercropping systems. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *69*(3), 314-325. https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1989416
29. Lotfi, R., Abbasi, A., Pessarakli, M., Rastogi, A., Kalaji, H. M., & Alizadeh, K. (2024). A comparison of jasmonic acid and salicylic acid-induced salinity stress tolerance in safflower plants, particularly on sodium (Na) and potassium (K) nutrient contents. *Journal of Plant Nutrition*, *47*(4), 515-528. https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2280125
30. Mishra, P., Mishra, J., & Arora, N. K. (2021). Plant growth promoting bacteria for combating salinity stress in plants–Recent developments and prospects: A review. *Microbiological Research*, *252*, 126861. https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126861
31. Mohavieh Asadi, N., Bijanzadeh, E., Behpouri, A., & Barati, V. (2020). Effect of relay intercropping of chickpea (*Cicer arietinum* L.) with barley (*Hordeum vulgare* L.) on biochemical traits and yield under late season drought stress. *Iranian Journal of Pulses Research*, *11*(2), 164-182. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v11i2.78361
32. Mohi-Ud-Din, M., Talukder, D., & Rohman, M. (2021). Exogenous application of methyl jasmonate and salicylic acid mitigates drought-induced oxidative damages in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plants*, *10*(10), 2066. https://doi.org/10.3390/plants10102066
33. Muchate, N. S., Nikalje, G. C., Rajurkar, N. S., Suprasanna, P., & Nikam, T. D. (2016). Plant salt stress: Adaptive responses, tolerance mechanism and bioengineering for salt tolerance. *The Botanical Review*, *82*(4), 371-406. https://doi.org/10.1007/s12229-016-9173-y

34. Nigam, B., Dubey, R. S., & Rathore, D. (2022). Protective role of exogenously supplied salicylic acid and PGPB (*Stenotrophomonas* sp.) on spinach and soybean cultivars grown under salt stress. *Scientia Horticulturae*, *293*, 110654. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110654
35. Pai, R., & Sharma, P. K. (2024). Exogenous supplementation of salicylic acid ameliorates salt-induced membrane leakage, ion homeostasis and oxidative damage in sorghum seedlings. *Biologia*, *79*(1), 23-43. https://doi.org/10.1007/s11756-023-01554-9
36. Patterson, B., Macrae, E., & Ferguson, I. (1984). Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium (IV). *Analytical Biochemistry*, *139*(2), 487-492. https://doi.org/10.1016/0003-2697(84)90039-3
37. Ramakrishna, B., & Rao, S. S. R. (2015). Foliar application of brassinosteroids alleviates adverse effects of zinc toxicity in radish (*Raphanus sativus* L.) plants. *Protoplasma*, *252*(2), 665-677. https://doi.org/10.1007/s00709-014-0714-0
38. Ruan, J., Zhou, Y., Zhou, M., Yan, J., Khurshid, M., Weng, W., Cheng, J., & Zhang, K. (2019). Jasmonic acid signaling pathway in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(10), 2479. https://doi.org/10.3390/ijms20102479
39. Saleem, M., Fariduddin, Q., & Castroverde, C. D. M. (2021). Salicylic acid: A key regulator of redox signalling and plant immunity. *Plant Physiology and Biochemistry*, *168*, 381-397. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.10.011
40. Siddiqui, H., Hayat, S., & Bajguz, A. (2018). Regulation of photosynthesis by brassinosteroids in plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, *40*(3), 1-15. https://doi.org/10.1007/s11738-018-2639-2
41. Singh, A. (2022). Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management*, *38*(1), 39-67. https://doi.org/10.1111/sum.12772
42. Su, K., Mu, L., Zhou, T., Kamran, M., & Yang, H. (2022). Intercropped alfalfa and spring wheat reduces soil alkali-salinity in the arid area of northwestern China. *Plant and Soil*, *481*, 1-18. https://doi.org/10.1007/s11104-022-05846-y
43. Wungrampha, S., Joshi, R., Singla-Pareek, S., & Pareek, A. (2018). Photosynthesis and salinity: Are these mutually exclusive? *Photosynthetica*, *56*(1), 366-381. https://doi.org/10.1007/s11099-017-0763-7
44. Yang, F., Liao, D., Wu, X., Gao, R., Fan, Y., Raza, M. A., Wang, X., Yong, T., Liu, W., & Liu, J. (2017). Effect of aboveground and belowground interactions on the intercrop yields in maize-soybean relay intercropping systems. *Field Crops Research*, *203*, 16-23. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.007
45. Yang, Q., Ravnskov, S., Pullens, J. W. M., & Andersen, M. N. (2022). Interactions between biochar, arbuscular mycorrhizal fungi and photosynthetic processes in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Science of the Total Environment*, *816*, 151649. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151649
46. Yin, W., Chai, Q., Zhao, C., Yu, A., Fan, Z., Hu, F., Fan, H., Guo, Y., & Coulter, J. A. (2020). Water utilization in intercropping: A review. *Agricultural Water Management*, *241*, 106335. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106335
47. Zhang, Y., & Li, X. (2019). Salicylic acid: Biosynthesis, perception, and contributions to plant immunity. *Current Opinion in Plant Biology*, *50*, 29-36. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.02.004